不同纤维和蛋白质水平饲粮对2岁焉耆马消化代谢、血浆生化指标及体增重的影响

刘　凯[1]　赵　芳[1]　李晓斌[1]　陈学济[1]　阿尔斯林[2]　杨开伦[1*]

（1.新疆农业大学，新疆肉乳用草食动物营养重点实验室，乌鲁木齐 830052；2.新疆巴音郭楞蒙古自治州和静县宝奇焉耆马种马场，焉耆 841100）

摘　要：本试验旨在研究不同纤维和蛋白质水平饲粮对2岁焉耆马消化代谢、血液生化指标及体增重的影响，为焉耆马的科学饲养提供理论基础。试验取年龄为 2 岁、平均体重为（254±14） kg的焉耆马公马12匹，随机分为2组，每组6匹。采用分期分组的试验方法，试验分2期：第1期为试验Ⅰ组和试验Ⅱ组，第2期为试验Ⅲ组和试验Ⅳ组，试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组、试验Ⅳ组饲喂纤维和蛋白质水平分别为73.52%、6.99%，68.82%、7.55%，67.32%、8.04%，64.21%、8.57%的饲粮，进行21 d的消化代谢试验，其中预试期15 d，正试期6 d。结果表明：营养物质消化率随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，其中试验Ⅳ组干物质、有机物、钙、磷的消化率显著高于试验Ⅰ组（$P<0.05$）；在能量代谢方面，增加饲粮中蛋白质水平可提高2岁焉耆马的代谢能、消化能，但各组间差异不显著（$P>0.05$）；就钙、磷代谢而言，试验Ⅱ组、试验Ⅲ组、试验Ⅳ组的钙、磷摄入量、沉积量、沉积率以及粪磷、尿磷排出量均高于试验Ⅰ组，其中试验Ⅳ组钙、磷沉积率分别比试验Ⅰ组高出 44.34%（$P<0.05$）和47.80%（$P<0.05$）；但提高饲粮中蛋白质水平对2岁焉耆马血浆总蛋白、白蛋白、球蛋白、尿素氮、谷氨酰胺含量及体增重无显著影响（$P>0.05$）。因此，提高2岁焉耆马饲

收稿日期：2015-12-10

基金项目："十二五"农村领域国家科技计划课题（2012BAD45B02）

作者简介：刘　凯（1987-），男，河南郑州人，硕士研究生，研究方向为草食动物营养代谢。E-mail：937317612@qq.com

*通信作者：杨开伦，教授，博士生导师，E-mail：yangkailun2002@aliyun.com

粮中蛋白质水平可提高营养物质的消化率和沉积量，且以饲粮中纤维水平为 64.21%、蛋白质水平为 8.57%时最佳，但对血浆生化指标及体增重无显著影响。

关键词：饲粮；焉耆马；纤维；蛋白质；消化代谢；血浆生化指标；体增重

中图分类号：S816　　　　　　文献标识码：　　　　　　　　文章编号：

动物通过饲粮获得营养物质，采食量决定动物的生长发育情况，而饲粮纤维和蛋白质水平可影响动物的采食量。饲喂蛋白质水平较低的饲粮会限制动物的生长发育，影响生产性能的发挥，而饲喂蛋白质水平较高的饲粮会引起马胃肠道内环境的改变，影响营养物质的利用率，出现酸中毒等症状。因此，饲喂适宜蛋白质水平的饲粮对马营养物质利用率及生长发育十分重要[1]。焉耆马是以乘挽兼用型为主的优良地方品种，主要分布于新疆巴音布鲁克蒙古自治州，具有速力和挽力、持久力较好等特点，是我国良好的耐力马品种，经测定，焉耆马 80 km 耐力赛用时 4 h 49 min 23s[2]。焉耆马的性成熟期为 2 岁左右，此时是焉耆马繁殖的重要时期，也是运动潜能开始发挥的时期，饲喂适宜蛋白质水平的饲粮对保持焉耆马高繁殖能力及运动性能发挥十分重要。本试验在前期的研究基础上，为 2 岁焉耆马设置了 4 个不同纤维和蛋白质水平的饲粮，采用消化代谢试验，通过计算 4 种饲粮下马匹对饲粮主要养分的消化代谢率，建立马匹营养物质摄入量与沉积量之间的数学关系，为今后 2 岁焉耆马的科学饲养提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验时间与地点

本试验于2014年7月至2014年9月在新疆巴音郭楞蒙古自治州宝奇焉耆马种马场进行。

1.2　试验动物

本试验选取年龄为2岁、平均体重为（254±14） kg的焉耆马公马12匹。

1.3　试验设计

将12匹焉耆马公马随机分为2组，每组6匹。采用分期分组的试验方法，试验分2期：第1

期为试验Ⅰ组和试验Ⅱ组，第2期为试验Ⅲ组和试验Ⅳ组，试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验Ⅲ组和试验Ⅳ组分别饲喂纤维和蛋白质水平为73.52%、6.99%，68.82%、7.55%，67.32%、8.04%，64.21%、8.57%的饲粮。每期进行为期21 d的消化代谢试验，其中预试期15 d，正试期6 d。第1期与第2期之间饲草料转化期为9 d。预试期开始前对马进行空腹称重。试验期内每天每2 h收集马排出的全部粪样、尿样；试验期结束当天早晨，对马进行空腹称重并静脉采血。所有马匹在同一环境条件下饲养。试验设计和分组见表1。

表 1　试验设计和分组

Table 1　Experiment design and group

项目 Items	马匹数 Number of horse	颗粒精料 Pelleted concentrate/kg	燕麦秸秆 Oat straw/kg	饲粮中纤维水平 Dietary fiber level/%	饲粮蛋白质水平 Dietary protein level/%
试验Ⅰ组 Trail group Ⅰ	6	1.2	10.8	73.52	6.99
试验Ⅱ组 Trail group Ⅱ	6	1.8	10.2	68.82	7.51
试验Ⅲ组 Trail group Ⅲ	6	2.4	9.6	67.32	8.04
试验Ⅳ组 Trail group Ⅳ	6	3.0	9.0	64.21	8.57

1.4　动物饲粮与饲养管理

在整个试验期所有试验马匹采用分槽分栏(栏：长 2.5 m×宽 1.2 m×高 2.0 m)饲喂。将饲粮平均分为 5 份，试验马匹于每日 08:00、12:30、17:00、21:00 和 00:00 定量饲喂，先粗后精、少量多次，以确保所有饲喂的饲草料被马匹采食完毕，同时保证充足的饮用水。预试期间，马匹采食结束后赶至运动场自由活动，此期间禁止马匹采食饲粮；正试期所有试验马匹

单圈舍饲，佩戴自制收粪、收尿装置，并保持站立状态，每 2 h 收集粪样、尿样 1 次。整个试验期间每日清晨清理圈舍，保证试验马匹良好的试验环境。试验马匹驱虫按马场生产管理进行。

试验马匹饲喂的粗饲料为燕麦秸秆，切短至长度为 8 cm 后定量饲喂。颗粒精料为直径约 0.5 cm，长约 1.0 cm 至 1.5 cm 的颗粒料，饲喂时准确称取。饲粮组成及营养水平见表 2。

表 2　饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of diets (DM basis) %

项目 Items	试验I组 Trail group Ⅰ	试验II组 Trail group Ⅱ	试验III组 Trail group Ⅲ	试验Ⅳ组 Trail group Ⅳ
原料 Ingredients				
玉米 Corn	5.60	8.45	11.40	14.25
麸皮 Wheat bran	1.30	2.1	2.80	3.60
次粉 Wheat midding	0.10	0.15	0.20	0.25
大豆粕 Soy bean meal	2.30	3.60	4.90	6.20
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.30	0.30	0.30	0.30
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料 Premix	0.10	0.10	0.10	0.10
燕麦秸 Oat straw	90.00	85.00	80.00	75.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels				
干物质 DM	95.56	95.21	94.88	94.53
有机物 OM	93.93	93.85	93.76	93.67
粗蛋白质 CP	6.99	7.51	8.04	8.57
中性洗涤纤维 NDF	48.48	44.93	44.60	42.65
酸性洗涤纤维 ADF	25.04	23.89	22.72	21.56

钙 Ca	0.23	0.23	0.23	0.23
磷 P	0.15	0.15	0.15	0.15

预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 480 IU，VB_1 816.32 mg，VB_2 333.2 mg，VB_6 48.96 mg，VD 70.4 IU，VE 21 333.36 IU，泛酸 pantothenic acid 20.46 mg，烟酰胺 nicotinamide 484.85 mg，Cu (as copper sulfate) 10.58 mg，Fe (as ferrous sulfate) 35.56 mg，Mn (as manganese sulfate) 33.54 mg，Zn (as zinc sulfate) 30.92 mg，I (as potassium iodide) 2.46 mg，Se (as sodium selenite) 5.93 mg，Co (as cobalt chloride) 1.11 mg。

1.5 样品的采集及保存

1.5.1 饲草料样品的收集及保存

试验期间，对颗粒精料和燕麦秸秆样品进行采集。将风干的饲草料经 40 目筛粉碎机粉碎后待测。

1.5.2 粪、尿样品的收集及保存

粪样：正试期内使马全天保持站立状态，使用自制收粪装置，全天每 2 h 收集马匹粪样 1 次并称重，将收集的全天粪样完全混匀，随机抓取粪样总重的 10%，放入已编号的样品袋中，自然风干后称重。将试验马匹连续 6 d 自然风干的粪样混匀，取 1 kg 作好记录封存待测。

尿样：正试期内使马全天保持站立状态，使用自制收尿装置，全天每 2 h 收集马匹尿液 1 次，将全天尿液充分摇匀，用量筒量取总体积并取 10%，加入 5%的浓硫酸后存入塑料瓶，封闭保存并做好记录。将试验马匹 6 d 收集的尿样混匀，取 1 L 保存待测。

1.5.3 血液样品的采集及保存

试验期结束当天早晨，对马空腹静脉采血，每匹马采血 10 mL 至肝素钠抗凝采血管，1 500×*g* 离心 20 min 制得血浆，然后用移液枪将血浆分装于 2 mL 离心管中，放入-20 ℃冰箱中保存。

1.5.4 称重

分别在预试期开始前和试验期结束后次日清晨对试验马匹进行空腹称体重。

1.6 样品的测定

1.6.1 饲草料、尿液及粪便中营养成分的测定

颗粒精料、燕麦秸秆、粪便中干物质（dry matter，DM）、有机物（organic matter，OM）、磷（phosphorus，P）含量均采用常规饲料分析方法[3]进行测定，钙（calcium，Ca）含量采用邻甲酚酞比色法[4]进行测定。尿液中 P 含量采用定 P 法[5]进行测定。总能（gross energy，GE）采用 HR-15 氧弹式热量计测定，中性洗涤纤维（neutral detergent fiber，NDF）和酸性洗涤纤维（acid detergent fiber，ADF）含量采用美国 ANKOM 纤维分析仪进行测定，粗蛋白质（crude protein，CP）含量采用德国 Elementar Analysen Systeme 快速定氮仪测定。

1.6.2 血浆生化指标的测定

血浆中总蛋白（total protein，TP）、白蛋白（albumin，ALB）、尿素氮（urea nitrogen，UN）含量采用试剂盒（购自中生北控生物科技股份有限公司，货号分别为 2090-2003、2074-2003、2102-2003）进行测定；血浆中球蛋白（globulin，GLB）、谷氨酰胺（glutamine，Gln）含量使用北京华英生物技术公司生产的试验盒（货号分别为 HY-N0013、HY-60057）测定。

1.7 数据计算及处理

数据的计算参考袁颖[6]的方法。试验数据均以平均值±标准差（mean±SD）表示，应用 SPSS 16.0 统计软件对试验数据进行单因素方差分析，多重比较采用 Duncan 氏法。

2 结　果

2.1 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马营养物质摄入量、消化量、消化率的影响

由表 3 可知，随饲粮中蛋白质水平的增加，2 岁焉耆马对 DM、OM、NDF、ADF 的摄入量呈降低的趋势，且试验Ⅳ组显著低于试验Ⅰ组（$P<0.05$），但 CP、Ca、P 的摄入量呈

增加的趋势，且 Ca、P 的摄入量各组间差异显著（P<0.05），CP 的摄入量试验III组、试验Ⅳ组显著高于试验Ⅰ组（P<0.05）。

各组间 DM、OM、CP 的消化量差异不显著（P>0.05）。随饲粮中蛋白质水平的增加，2 岁焉耆马对 Ca、P 的消化量呈增加趋势，其中试验Ⅳ组 Ca、P 的消化量显著高于试验Ⅰ组、试验Ⅱ组、试验III组（P<0.05），而 NDF、ADF 消化量随饲粮蛋白质水平的增加呈降低趋势，但各组间差异不显著（P>0.05）。

随饲粮中粗蛋白质水平的增加，2 岁焉耆马对饲粮中 DM、OM、CP、NDF、ADF、Ca、P 的消化率基本呈增加趋势，其中试验Ⅳ组 DM、OM、Ca、P 的消化率显著高于试验Ⅰ组（P<0.05），分别比试验Ⅰ组高出 10.58%、9.57%、44.34%、47.80%。

表 3　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马营养物质摄入量、消化量、消化率的影响(干物质基础，代谢体重基础)

Table 3　Effects of different dietary fiber and protein levels on nutrient intake, digestion and digestibility of 2 years old *Yanqi* horse (DM basis, $W^{0.75}$ basis, n=6)

项目 Items		试验Ⅰ组 Trail groupⅠ	试验Ⅱ组 Trail groupⅡ	试验III组 Trail groupIII	试验Ⅳ组 Trail groupⅣ
摄入量 Intake	干物质 DM/[g/(匹/d)]	179.93±4.08^{a}	176.69±8.44^{ab}	174.44±4.80^{ab}	167.63±10.49^{b}
	有机物 OM/[g/(匹/d)]	169.02±3.83^{a}	165.82±7.92^{ab}	163.56±4.50^{ab}	157.03±9.83^{b}
	粗蛋白质 CP/[g/(匹/d)]	12.51±0.31^{b}	13.66±0.80^{ab}	14.10±0.52^{a}	14.19±0.891^{a}
	中性洗涤纤维 NDF/[g/(匹/d)]	87.17±1.91^{a}	82.22±3.93^{b}	77.81±2.14^{b}	71.49±4.47^{c}
	酸性洗涤纤维 ADF/[g/(匹/d)]	45.02±0.99^{a}	42.19±2.02^{b}	39.65±1.09^{c}	36.14±2.26^{d}
	钙 Ca/[mg/(匹/d)]	357.57±9.24^{d}	398.49±19.59^{c}	446.42±11.41^{b}	490.35±30.42^{a}
	磷 P/[mg/(匹/d)]	245.71±7.02^{d}	288.91±1.27^{c}	341.23±9.38^{b}	386.08±21.52^{a}

消化量 Digestion amount	干物质 DM/[g/(匹/d)]	115.35±13.27	119.51±10.01	118.54±1.72	118.76±10.02
	有机物 OM/[g/(匹/d)]	112.32±12.28	116.22±9.21	115.22±1.73	114.28±9.57
	粗蛋白质 CP/[g/(匹/d)]	8.33±0.57	9.38±1.25	9.04±0.61	10.06±0.97
	中性洗涤纤维 NDF/[g/(匹/d)]	43.61±7.51	43.54±5.10	42.85±5.15	40.20±5.24
	酸性洗涤纤维 ADF/[g/(匹/d)]	21.06±4.19	20.88±3.06	20.29±3.20	19.24±2.99
	钙 Ca/[mg/(匹/d)]	135.89±31.39^{b}	170.64±49.38^{b}	178.80±48.78^{b}	269.95±54.33^{a}
	磷 P/[mg/(匹/d)]	74.07±24.65^{b}	108.87±22.18^{b}	100.03±30.53^{b}	171.87±31.00^{a}
消化率 Digestibility/%	干物质 DM	64.01±5.98^{b}	67.54±2.60^{ab}	68.01±2.59^{ab}	70.78±1.68^{a}
	有机物 OM	66.36±5.82^{b}	70.01±2.33^{ab}	70.50±2.67^{ab}	72.71±1.76^{a}
	粗蛋白质 CP	66.52±3.43	68.45±5.44	64.09±1.97	70.78±2.38
	中性洗涤纤维 NDF	49.90±7.60	52.84±3.98	55.21±7.78	56.12±4.64
	酸性洗涤纤维 ADF	46.63±8.35	49.34±5.03	51.34±9.12	53.07±5.53
	钙 Ca	37.91±8.26^{b}	42.78±11.88^{ab}	40.05±10.84^{b}	54.72±11.14^{a}
	磷 P	29.98±9.38^{b}	39.11±7.16^{ab}	29.30±8.68^{b}	44.31±6.31^{a}

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P＞0.05），不同小写字母表示差异显著（P＜0.05）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean significant different (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant different (P<0.05). The same as below.

2.2 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马能量、氮、Ca、P 代谢的影响

由表4可知，随着饲粮中蛋白质水平的增加，GE摄入量呈下降趋势，且试验Ⅰ组显著高于试验III组及试验Ⅳ组（P＜0.05）；而粪能、尿能随饲粮中蛋白质水平的增加呈降低的趋势，

试验III组、试验IV组粪能、尿能显著低于试验Ⅰ组（P＜0.05）；随饲粮中蛋白质水平的增加，2岁焉耆马的消化能、代谢能增加，试验II组、试验III组、试验IV消化能、代谢能分别比试验Ⅰ组提高出4.35%、3.99%、5.15%与8.52%、13.90%、15.25%，但各组间差异不显著（P＞0.05）。

随饲粮中蛋白质水平的增加，2岁焉耆马对氮摄入量增加，且试验III组、试验IV组氮摄入量显著高于试验Ⅰ组（P＜0.05）；在粪氮方面，随饲粮中蛋白质水平的增加，粪氮排出量呈先增加后降低的趋势，试验III组的粪氮排出量显著高于试验Ⅰ组及试验IV组（P＜0.05）；而增加饲粮中蛋白质水平对尿氮排出量无显著影响（P＞0.05）；各组氮沉积量、沉积率随饲粮中蛋白质水平的增加呈先增加后降低的趋势，但各组间差异不显著（P＞0.05）。

在Ca代谢方面，随饲粮中蛋白质水平的增加，2岁焉耆马对Ca的摄入量增加，试验II组、试验III组、试验IV组分别比试验Ⅰ组提高11.44%（P＜0.05）、24.86%（P＜0.05）、37.13%（P＜0.05）；粪Ca、尿Ca排出量各组间差异不显著（P＞0.05）；Ca的沉积量、沉积率随饲粮中蛋白质水平的增加整体呈增加趋势，且试验IV组显著高于其余各组（P＜0.05）。

在 P 代谢方面，P 摄入量随饲粮中蛋白质水平的增加而增加，且各组间差异显著（P＜0.05）；随饲粮中蛋白质水平的增加，粪 P、尿 P 排出量呈先增加后降低的趋势，试验III组、试验IV组粪 P 排出量显著高于试验Ⅰ组及试验II组（P＜0.05），而尿 P 排出量以试验II组为最高，且与试验Ⅰ组相比差异显著（P＜0.05）；增加饲粮中蛋白质水平使 P 沉积量、沉积率增加，且试验IV组显著高于试验II组及试验III组（P＜0.05），但试验Ⅰ组、试验II组及试验III组间差异不显著（P＞0.05）。

表 4　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马能量、氮、钙、磷代谢的影响(代谢体重基础)

Table 4　Effects of different dietary fiber and protein levels on energy, nitrogen, calcium, phosphorus metabolism of 2-year-old *Yanqi* horse ($W^{0.75}$ basis, n=6)

项目	试验Ⅰ组	试验II组	试验III组	试验IV组

Items	Trail group Ⅰ	Trail group Ⅱ	Trail group Ⅲ	Trail group Ⅳ
能量代谢 Energy metabolism				
总能摄入量 GE intake/[MJ/(匹/d)]	4.45±0.10[a]	4.37±0.21[a]	4.28±0.14[b]	4.15±0.22[b]
粪能 Feces energy/[MJ/(匹/d)])	1.68±0.14[a]	1.49±0.05[b]	1.41±0.16[bc]	1.24±0.12[c]
尿能 Urinary energy/[MJ/(匹/d)]	0.54±0.11[a]	0.46±0.09[a]	0.33±0.12[b]	0.34±0.16[b]
消化能 Digestible energy/[MJ/(匹/d)]	2.76±0.24	2.88±0.23	2.87±0.03	2.91±0.30
代谢能 Metabolism energy/[MJ/(匹/d)]	2.23±0.33	2.42±0.30	2.54±0.15	2.75±0.19
氮代谢 Nitrogen metabolism				
氮摄入量 Nitrogen intake/[g/(匹/d)]	2.00±0.05[b]	2.18±0.13[ab]	2.25±0.08[a]	2.27±0.14[a]
粪氮排出量 Feces nitrogen output/[g/(匹/d)]	0.67±0.06[b]	0.68±0.10[ab]	0.81±0.01[a]	0.66±0.02[b]
尿氮排出量 Urinary nitrogen output /[g/(匹/d)]	0.76±0.14	0.88±0.04	0.84±0.03	0.86±0.07
氮沉积量 Nitrogen retention/[g/(匹/d)]	0.57±0.08	0.61±0.20	0.60±0.07	0.74±0.20
氮沉积率 Nitrogen retention rate/%	28.45±3.92	27.83±7.56	26.77±1.94	32.57±6.79
钙代谢 Calcium metabolism				
钙摄入量 Ca intake/[mg/(匹/d)]	357.57±9.24[d]	398.49±19.59[c]	446.42±11.41[b]	490.35±30.42[a]
粪钙排出量 Feces Ca output/[mg/(匹/d)]	221.68±26.29	227.85±47.94	267.63±48.73	220.40±30.35
尿钙排出量 Urinary Ca output/[mg/(匹/d)]	72.32±14.09	58.54±3.39	63.97±15.84	59.19±7.94
钙沉积量 Ca retention/[mg/(匹/d)]	63.57±26.96[b]	112.10±48.22[b]	114.83±56.27[b]	210.75±54.48[a]
钙沉积率 Ca retention rate/%	17.74±7.54[b]	28.05±11.56[b]	25.77±12.67[b]	42.58±8.97[a]
磷代谢 P metabolism				
磷摄入量 P intake/[mg/(匹/d)]	245.71±7.02[d]	288.91±1.27[c]	341.23±9.38[b]	386.08±21.52[a]
粪磷排出量 Feces P output/[mg/(匹/d)]	171.64±18.89[b]	180.04±23.45[b]	241.20±30.42[a]	214.22±17.78[a]
尿磷排出量 Urinary P output/[mg/(匹/d)]	0.89±0.15[b]	1.30±0.27[a]	0.98±0.23[ab]	0.90±0.30[b]

磷沉积量 P retention/[mg/(匹/d)]	73.18±24.53^{b}	107.56±22.24^{b}	99.05±30.50^{b}	170.96±31.15^{a}
磷沉积率 P retention rate/%	29.61±9.34^{b}	37.24±7.41^{ab}	29.01±8.67^{b}	44.08±6.36^{a}

总能摄入量为实测值。GE intake was a measured value.

2.7 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马血浆生化指标的影响

由表 5 可知，增加 2 岁焉耆马饲粮中蛋白质水平对血浆中 TP、ALB、GLB、UN 含量无显著影响（*P*>0.05），但试验Ⅱ组、试验Ⅲ组、试验Ⅳ均高于试验Ⅰ组；随饲粮中蛋白质水平的增加，血浆中 UN 含量有所增加，但各组间差异不显著（*P*>0.05）；此外，血浆中 Gln 含量随着饲粮中粗蛋白质水平的增加呈下降趋势，但各组间差异不显著（*P*>0.05）。

表 5 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马血浆生化指标的影响

Table 5 Effects of different dietary fiber and protein levels on plasma biochemical indices of 2 years old *Yanqi* horse (*n*=6)

项目 Items	试验Ⅰ组 Trail group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trail group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trail groupⅢ	试验Ⅳ组 Trail group Ⅳ
总蛋白 TP/(g/L)	60.23±6.13	62.06±3.57	60.00±7.07	63.15±2.41
白蛋白 ALB/(g/L)	15.15±3.19	16.90±3.38	15.93±1.76	16.93±4.07
球蛋白 GLB/(g/L)	45.07±5.71	45.17±4.51	44.07±5.56	46.24±4.68
尿素氮 UN/(mmol/L)	3.68±0.64	3.19±0.65	3.84±0.51	3.86±0.93
谷氨酰胺 Gln/(mmol/L)	0.72±0.14	0.74±0.15	0.66±0.15	0.66±0.10

2.8 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马体增重的影响

由表 6 可知，提高 2 岁焉耆马饲粮中粗蛋白质水平对末重、试验期内体增重及平均日增重无显著影响（*P*>0.05），但以试验Ⅱ组的体增重、平均日增重为最高，而试验Ⅳ组的体增重及平均日增重则低于其余各组。

表 6 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马体增重的影响

Table 6 Effects of different dietary fiber and protein levels on body weight gain of 2 years old *Yanqi* horse (*n*=6)

项目 Items	试验Ⅰ组 Trail group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trail group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trail group Ⅲ	试验Ⅳ组 Trail group Ⅳ
初重 Initial weight/kg	252.33±9.33	254.83±18.68	266.67±9.69	266.40±20.71
末重 Final weight/kg	266.67±9.69	266.40±20.71	279.33±11.22	281.20±20.28
体增重 Body weight gain/kg	14.33±1.51	15.17±2.99	12.67±6.65	14.48±1.79
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.84±0.09	0.89±0.18	0.75±0.39	0.70±0.11

3 讨 论

3.1 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆营养物质摄入量、消化量、消化率的影响

动物对饲粮中营养物质的消化情况取决于许多因素，包括动物因素（年龄、体重、体况、生产性能等）、环境条件、饲养管理、饲料品质及饲粮组成（含水量、精粗比、NDF 含量）等[1]。研究表明动物对饲粮营养物质的消化性与饲粮组成有关。Slade[7]研究表明，动物对饲粮中氮和蛋白质的消化能力与 DM 摄入量及饲粮蛋白质水平有关，增加 DM 摄入量或饲粮中蛋白质水平均可提高动物对饲粮中 CP 的消化率。Gibbs[8]研究表明，马对高蛋白质的紫花苜蓿中氮的表观消化率显著高于低蛋白质的百慕干草。Karlsson[9]报道，随着饲粮中燕麦比例的增加，马对饲粮中 DM、OM、粗纤维的消化率显著增加。

在本试验中，随饲粮中蛋白质水平的增加，2 岁焉耆马对饲粮中营养物质的消化量和消化率均呈上升趋势，与上述前人研究结果一致。DM 的消化率随饲粮中蛋白质水平的增加而升高，以蛋白质水平为 8.57%的饲粮组最高。饲粗蛋白质水平为 8.57%的饲粮时，OM、CP、Ca、P 的消化率最高，分别为 72.71%、70.78%、54.72%、44.31%。此外，随饲粮中蛋白质水平的增加，NDF、ADF 的消化率也呈增加趋势，可能是由于 2 岁焉耆马摄入的蛋白质有益于焉耆马盲肠处降解纤维的微生物的增殖，从而提高了 NDF、ADF 的消化率[10]。因此，提高 2 岁焉耆马饲粮中蛋白质水平可增加饲粮中营养物质的消化率，且饲喂蛋白质水平为 8.57%的饲粮时，2 岁焉耆马对饲粮中营养物质的消化利用率最高。

3.3　不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马能量、氮、Ca、P 代谢的影响

动物体内能量代谢过程反映动物机体对饲粮中糖类、蛋白质、脂肪分解氧化过程中能量的利用情况。研究表明，不同年龄、不同工作状态下马对能量的需要量不同。Coenen[11]证实处于生长发育期 3~6 月龄的马驹对能量的需要量为 0.88 MJ/kg·$W^{0.75}$，13~18 月龄时下降到 0.63 MJ/kg·$W^{0.75}$，而 18 月龄的马对能量的维持需要量与成熟马的维持需要量相接近。NRC（2007）[12]推荐，成熟体重为 400 kg 的马，24 月龄时体重为 343 kg，每天所需的能量为 0.79 MJ/kg·$W^{0.75}$。而成熟体重为 500 kg 的马，24 月龄时体重为 429 kg，每天所需的能量为 0.83 MJ/kg·$W^{0.75}$[13]。本试验结果表明，随饲粮中蛋白质水平的增加，2 岁焉耆马粪能、尿能呈下降趋势，消化能和代谢能呈上升趋势，且饲粮中蛋白质水平为 8.57%时的消化能和代谢能最高，表明提高饲粮中蛋白质水平可提高 2 岁焉耆马对饲粮中能量的利用率。

氮代谢是研究动物体内蛋白质增减规律的必需手段。饲粮结构及营养水平、食糜在消化道停留时间[13]和动物生理状态都会影响动物体内的氮代谢过程，其中动物对饲粮中氮和蛋白质的消化能力与 DM 摄入量及饲粮中蛋白质水平有关。马对饲粮中蛋白质的消化始于胃部，而蛋白质的吸收主要在小肠[14]。Slade[7]报道，非做工状态下的马体内氮沉积量随饲粮蛋白质水平的增加而增加。Drogoul[15]使用 3 种不同精粗比(100:0、70:30、50:50)的饲粮对马进行消化代谢试验，结果表明随饲粮中大麦比例的增加，马对饲粮中 CP 的消化率增加。

在本试验中，随着饲粮中蛋白质水平的增加，氮沉积量也呈上升趋势，与 Slade[7]、Drogoul[15]的研究结果相似。NRC（2007）[12]推荐，成熟体重为 400kg 的马，24 月龄时体重为 343kg，对粗蛋白质的需要量为 7.73 g/kg·$W^{0.75}$。Reitnour[16]研究发现马对粗蛋白质的最低需求量为 8.09 g/kg·$W^{0.75}$。Olsman 等[17]认为马对粗蛋白质的适宜需要量为 9.15 g/kg·$W^{0.75}$。本试验中 2 岁焉耆马对粗蛋白质的适宜需要量为 14.19 g/kg·$W^{0.75}$，高于 Reitnour[16]及 Olsman[17]的研究结果，可能与本试验中饲喂的粗饲料为燕麦秸秆，其利用率较低，故 2 岁焉耆马需要摄入较多的粗蛋白质来满足需要。

Ca和P是马所需的主要矿物质元素。钙离子（Ca^{2+}）参与许多生理过程，如骨矿化作用、肌肉收缩、神经兴奋性、血液凝固、细胞黏附和细胞凋亡[18]。研究表明降低猪饲粮中纤维水平可增加P的沉积量[19]。而Howe等[20]认为当饲粮中P水平较高时，CP摄入量的增加显著减低P的沉积率。马对Ca、P的吸收受饲粮类型、营养成分及马的品种、年龄和体重的影响。Cymbaluk[21]报道，马对Ca的消化率从6月龄开始至24月龄期间大大降低。

在本试验中，随饲粮中蛋白质水平的增加、纤维水平的降低，2岁焉耆马体内Ca、P的沉积量呈增加趋势，与Stanogias等[19]的研究结果一致。研究表明，马对Ca的沉积率在51%~69%之间，对P的沉积率通常在30%~55%之间[22]。在本试验中，2岁焉耆马对Ca、P的沉积率分别在17.74%~42.58%、29.62%~44.08%，P的沉积率与Schryver等[19]的结果接近，而Ca的沉积率偏低，这可能与焉耆马对饲料中Ca的利用率偏低有关，具体原因有待于进一步研究。

3.6 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马血浆生化指标的影响

褚洪忠[23]研究了不同饲养管理条件对杂交伊犁马驹生长发育的影响，发现血清中TP、ALB含量随CP摄入量的增加而显著升高。而阿依沙依拉[24]通过给哺乳期马驹补饲精料补充料发现，各组血浆中TP、ALB、GLB、UN、GLU含量差异不显著。Greppi[25]研究表明，饲喂不同CP水平的饲粮对马血液生化指标无显著影响。

在本试验中，各组血浆 TP 含量均处于正常范围内（52～79 g/L）[26]，但各组血浆 ALB 的含量均比正常参考值（26～37 g/L）偏低，说明各组试验马匹营养状况略低。而提高饲粮中蛋白质水平对 2 岁焉耆马血浆中 TP、ALB、GLB 含量无显影响，与阿依沙依拉[24]的结果一致，可能是由于试验周期短而未产生显著影响。血浆 UN 含量是反映动物机体代谢的重要指标，能够反映动物蛋白质代谢状况。桂林生等[27]研究发现，荷斯坦公牛血浆 UN 含量随着饲粮精粗比的增加呈下降趋势，但在本试验中 2 岁焉耆马血浆 UN 含量随着饲粮蛋白质水平的增加呈略微增加趋势，且各组间差异不显著，表明提高饲粮中蛋白质水平对 2 岁焉耆马血

浆 UN 含量无显著影响。Gln 在动物胃肠受损时能够维持小肠结构和功能的稳定，是维持小肠代谢的主要营养成分。研究表明，Gln 对机体蛋白质合成与降解、氧化应激有直接或者间接的影响[28]。正常情况下 Gln 对机体的氧化应激有抵制作用，其含量的增加可反映机体抗的氧化能力增强。在本试验中，各组血浆 Gln 含量随饲粮中蛋白质水平的增加无显著变化，可能是由于饲喂时间较短，所以影响不大。

3.7 不同纤维和蛋白质水平饲粮对 2 岁焉耆马体增重的影响

动物的生长发育受到品种、性别、营养水平、环境等因素的影响。褚洪忠[23]以8~11月龄杂交伊犁马驹为试验动物，饲喂不同营养水平的饲粮，结果表明随饲粮营养水平的提高，不同月龄杂交伊犁马平均日增重增加，料重比降低。王绍松[29]于1989年测定了成年焉耆马的平均体重为362.79 kg，本试验中测定的焉耆马平均体重在260 kg左右，显著低于王绍松[29]的测定结果，这可能是本试验选用的试验马匹均为2岁，尚未成熟，故体重较轻。在平均日增重方面，增加饲粮中蛋白质水平对2岁焉耆马体增重无显著影响，可能存在2个方面的原因：其一，本试验的试验天数为31 d，饲喂时间较短，对体重影响较小；其二，在未进行该试验前，试验马匹的饲养方式为放牧，饲粮营养水平较低，而本试验采用的又是分期分组试验方法（即第1期为试验Ⅰ组和试验Ⅱ组，第2期为试验III组和试验Ⅳ组），试验Ⅰ组和试验Ⅱ组马匹可能存在补偿生长，最终导致试验Ⅱ组马匹增重最高，试验Ⅳ组增重最低。

4 结 论

在本试验中，提高 2 岁焉耆马饲粮中蛋白质水平可提高营养物质的消化率和沉积量，且以饲粮中纤维含量为 64.21%、蛋白质水平为 8.57%时最佳，但对血浆生化指标及体增重无显著影响。

参考文献：

[1] LLAMAS-LAMAS G,COMBS D K.Effect of forage to concentrate ratio and intake level on utilization of early vegetative alfalfa silage by dairy cows[J].Journal of Dairy

Science,1991,74(2):526–536.

[2] 才仁道尔吉,管永平,尼满,等.焉耆马种质特性分析及选育方向研究[J].草食家畜,2014(3):26–28.

[3] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:48–93.

[4] 傅启高,雒秋江.用邻–甲酚酞比色法测定饲料中钙含量的研究[J].动物营养学报,1996,8(3): 25–30.

[5] 张龙翔,张庭芳,李令媛.生化实验方法和技术[M].2 版.北京:高等教育出版社,1997:235–236.

[6] 袁缨.动物营养学实验教程[M].北京:中国农业大学出版社,2006:105–198.

[7] SLADE L M,ROBINSON D W,CASEY K E.Nitrogen metabolism in nonruminant herbivores.Ⅰ.The influence of nonprotein nitrogen and protein quality on the nitrogen retention of adult mares[J].Journal of Animal Science,1970,30(5):753–760.

[8] GIBBS P G,POTTER G D,SCHELLING G T,et al.Digestion of hay protein in different segments of the equine digestive tract[J].Journal of Animal Science,1988,66(2):400–406.

[9] KARLSSON C P,LINDBERG J E,RUNDGREN M.Associative effects on total tract digestibility in horses fed different ratios of grass hay and whole oats[J].Livestock Production Science,2000,65(1/2):143–153.

[10] SNIFFEN C J, ROBINSON P H. Protein and fiber digestion, passage and utilization in lactating cows. Microbial growth and flow as influenced by dietary manipulations[J] Journal of Dairy Science,1987,70(2):425-441.

[11] COENEN M,KIENZLE E,VERVUERT I,et al.Recent German developments in the formulation of energy and nutrient requirements in horses and the resulting feeding

recommendations[J].Journal of Equine Veterinary Science,2011,31(5/6):219–229.
[12] NRC.Nutrient requirements of horses[S].6th ed.Washington,D.C.:National Academies Press,2007:229–230.
[13] GIBBS P G,POTTER G D.Concepts in protein digestion and amino acid requirements of young horses[J].The Professional Animal Scientist,2002,18(4):295–301.
[14] MIRAGLIA N,POLIDORI M,BERGERO D,et al.Apparent digestibility of a dietetic feed in equine nutrition[J].Journal of Food,Agriculture & Environment,2008,6(2):295–298.
[15] DROGOUL C,DE FOMBELLE A,JULLIAND V.Feeding and microbial disorders in horses:2:effect of three hay:grain ratios on digesta passage rate and digestibility in ponies[J].Journal of Equine Veterinary Science,2001,21(10):487–491.
[16] REITNOUR C M,SALSBURY R L.Utilization of proteins by the equine species[J].American Journal of Veterinary Research,1976,37(9):1065–1067.
[17] OLSMAN A F S,HUURDEMAN C M,JANSEN W L,et al.Macronutrient digestibility,nitrogen balance,plasma indicators of protein metabolism and mineral absorption in horses fed a ration rich in sugar beet pulp[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2004,88(9/10):321–331.
[18] DE GROOT T,BINDELS R J M,HOENDEROP J G J.TRPV5:an ingeniously controlled calcium channel[J].Kidney International,2008,74(10):1241–1246.
[19] STANOGIAS G, PEARCE G R, ALIFAKIOTIS T, et al. Effects of dietary concentration and source of fiber on the apparent absorption of minerals by pigs[J].Animal Feed Science and Technology, 1994, 47(3): 287-295.
[20] HOWE J C, BEECHER G R. Effect of dietary protein and phosphorus levels on calcium andphosphorus metabolism of the young, fast growing rat[J].The Journal of Nutrition, 1981,

111(4): 708-720.

[21] CYMBALUK N F, CHRISTISON G I, LEACH D H.Nutrient utilization by limit-and *ab libitum*-fed growing horses[J].Journal of Animal Science,1989,67(2):414–425.

[22] SCHRYVER H F, HINTZ H F,CRAIG P H.Phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of phosphorus[J].The Journal of Nutrition,1971,101(9):1257–1263.

[23] 褚洪忠.不同饲养管理条件对杂交伊犁马驹生长发育影响的研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2012:45–46.

[24] 阿依沙依拉.补饲对哈萨克马和伊犁马哺乳马驹生长发育的影响[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2013:33–34.

[25] GREPPI G F,CASINI L,GATTA D,et al.Daily fluctuations of haematology and blood biochemistry in horses fed varying levels of protein[J].Equine Veterinary Journal,1996,28(5):350–353.

[26] 霍生东,臧荣鑫,房少新,等.焉耆马血液生理生化指标的测定[J].中国草食动物,2009,29(6):8–10.

[27] 桂林生,昝林森,梁大勇,等.日粮精粗比水平对荷斯坦公牛消化器官发育及血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(5):47–50.

[28] WU G Y,BAZER F W,DAVIS T A,et al.Arginine metabolism and nutrition in growth,health and disease[J].Amino Acids,2009,37(1):153–168.

[29] 王绍松.自然条件对焉耆马体尺及类型的影响[J].家畜生态学报,1989,10(1):12–15.

Effects of Different Dietary Fiber and Protein Levels on Nutrient Digestion and Metabolism, Plasma Biochemical Indexes and Body Weight Gain of 2 Years Old *Yanqi* Horse

LIU Kai[1] ZHAO Fang LI Xiaobin[1] CHEN Xueji[1] Aersilin[2] YANG Kailun[1*]

(1. *Xinjiang Agricultural University, Xinjiang Key Laboratory of Meat & Milk Production Herbivore Nutrition*, *Urumqi* 830052, *China*; 2. *Mongolian Autonomous Prefecture Bayinguoleng Baoqi Stud Farm of Yanqi Horse*, *Yanqi* 841100, *China*)

Abstract: This experiment mainly studied the effects of different dietary fiber and protein levels on nutrient digestion and metabolism, plasma biochemical indices and body weight gain of 2 years old *Yanqi* horse, in order to provide the oretical basis for scientific feeding of *Yanqi* horse. Twenty healthy *Yanqi* male horses with the age of tow years old and the average body weight of (254±14) kg were randomly divided into 2 groups, each group of 6 horses. Used the method of staging group, trial groups Ⅰ and Ⅱ were arranged in stage Ⅰ, and trial groups Ⅲ and Ⅳ were arranged in stage 2. Horses in the 4 groups were fed diets with different fiber and protein levels (the levels of fiber and protein in the diets were 73.52% and 6.99%, 68.82% and 7.55%, 67.32% and 8.04%, 64.21% and 8.57%, respectively). The digestion and metabolism experiment lasted for 21 d, comprised a 15 d adaptation period and 6 d trial period. The result showed that the digestibility of nutrients of *Yanqi* horse all showed increasing trends with the dietary protein level increasing, the digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), calcium (Ca), phosphorus (P) of trail group IV was significantly higher than that in trial group Ⅰ（$P<0.05$）. In aspect of energy metabolism, digestible energy (DE) and metabolism energy (ME) of *Yanqi* horse were increased by increasing the dietary protein level, but there were no significant differences among trial groups （$P>0.05$）. In aspect of Ca and P metabolism, the intakes, retentions and retention rates of Ca and P and the outputs of feces Ca and feces P in trial groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ were higher than those in trial group Ⅰ. Among them, the retention rates of Ca and P in trial group Ⅳ were increased by 44.34% （$P<0.05$） and 47.80%（$P<0.05$） compared with trial group Ⅰ, respectively. But increasing the dietary protein level had no significant effects on the contents of total protein (TP), albumin (ALB), globulin (GLB), urea nitrogen (UN) and glutamine (Gln) in plasma and body weight gain among all groups （$P>0.05$）. Therefore, increasing the dietary protein level can improve nutrient digestibility and retention, but cannot affect plasma biochemical indices and body weight gain,

and the optimal levels of fiber and protein in the diet are 64.21% and 8.57%, respectively.

Key words: diet; *Yanqi* horse; fiber; protein; digestion and metabolism; plasma biochemical indices; body weight gain